

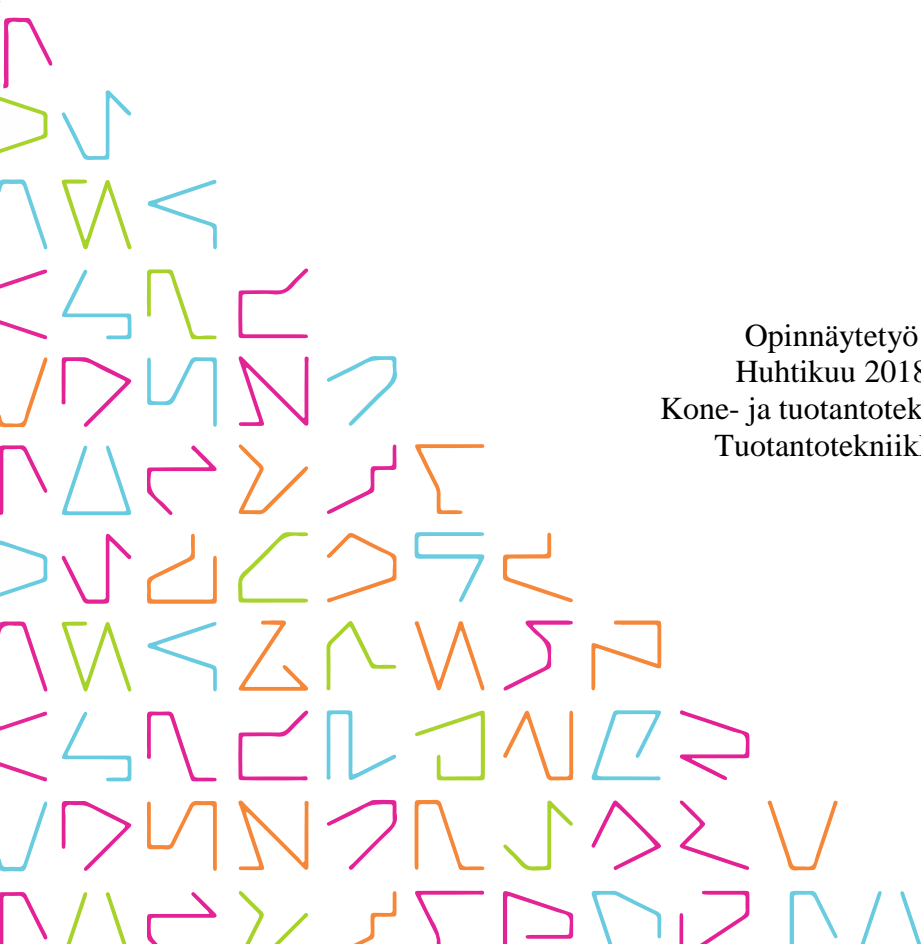


TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# SUUNNITTELU 3D-TULOSTIMELLE SOLIDWORKS CAD-OHJELMALLA

Tommi Sotka

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2018  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotantotekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotantotekniikka

SOTKA, TOMMI:

Suunnittelu 3D-tulostimelle Solidworks CAD-ohjelmalla

Opinnäytetyö 28 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Huhtikuu 2018

---

Opinnäytetyö on osa Tampereen ammattikorkeakoulun järjestämää tutkimuskokonaisuutta, jossa kolmella opinnäytetyöllä vertaillaan suunnitteluohjelmien sopivuutta 3D-tulostamiselle. Tässä työssä käytetty ohjelma on Solidworks. Tavoitteena työssä on selvittää Solidworksin kykyä selviytyä tulostettavien kappaleiden suunnittelusta ja niiden piirteiden tekemisestä.

Työssä esitellään käytetty suunnitteluohjelma Solidworks ja sen lisäohjelma 3Dxpert, jolla tehtiin työn verkkorakenteet. Lisäksi työssä kerrotaan, mitä 3D-tulostaminen on, mitä eri tulostustekniikat ovat ja mitä 3D-tulostusprosessi pitää sisällään.

Yhtenä opinnäytetyön tärkeimpänä tuloksena havaitaan Solidworks-ohjelman erinomainen sopivuus 3D-suunnitteluun ja 3D-tulostamiseen. Tutkimuskokonaisuuden kolmen opinnäytetyön vertailulla lukija voi verrata kolmea eri suunnitteluohjelmaa keskenään ja niiden sopivuutta 3D-tulostamiselle.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering  
Production Engineering

SOTKA, TOMMI:  
Designing Models for 3D Printing with SolidWorks

Bachelor's thesis 28 pages, appendices 3 pages  
April 2018

---

This thesis is part of a research organized by Tampere University of Applied Sciences, where suitability of three design programs for 3D printing are compared. The program examined in this thesis is SolidWorks. The goal of this work was to find out how suitable SolidWorks is for the design and 3D printing of objects and their features.

The thesis introduces SolidWorks and 3Dxprt, a complementary software for SolidWorks, which was used to create lattice structures in this thesis. In addition, the thesis tells about what 3D printing is, the different printing techniques and what the 3D printing process entails.

According to the results of this thesis, it is clear that SolidWorks is an excellent tool for 3D design and 3D printing. From the whole three theses research set, the reader can compare the three different design programs with each other and their suitability for 3D printing.

---

Key words: solidworks, 3d printing, 3d design

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	SOLIDWORKS .....	6
2.1	Ohjelman historia.....	6
2.2	Ohjelman toiminta .....	6
2.3	3Dxpert .....	7
3	3D-TULOSTAMINEN .....	9
3.1	3D-tulostaminen ja sen historia .....	9
3.2	Tulostusprosessi.....	10
3.3	Tulostustekniikat.....	11
3.3.1	Nesteen fotopolymerointi.....	12
3.3.2	Materiaaliruisutus.....	14
3.3.3	Sideaineruisutus .....	14
3.3.4	Materiaalin pursotus.....	15
3.3.5	Jauhepetimenetelmä .....	16
3.3.6	Laminointi .....	17
3.3.7	Suorakerrostus.....	18
4	KAPPALEIDEN VALMISTUS.....	20
4.1	Kappaleiden mallintaminen .....	20
4.1.1	Orgaaninen rakenne .....	21
4.1.2	Verkkorakenne .....	23
4.1.3	Toroidikappale .....	25
4.2	Kappaleiden tulostaminen.....	25
5	POHDINTA.....	27
	LÄHTEET.....	28
	LIITTEET .....	29
	Liite 1. 3Dxpert: Valikon pikaopas .....	29

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on osa Tampereen ammattikorkeakoulun järjestämää tutkimuskokonaisuutta, jossa kolmella opinnäytetyöllä vertaillaan suunnitteluohjelmien sopivuutta 3D-tulostamiselle. Tässä työssä käytetty ohjelma on Solidworks. Tavoitteena työssä on selvittää, miten hyvin Solidworks soveltuu tulostettavien kappaleiden suunnitteluun ja niiden piirteiden tekemiseen.

Tehtyjen kappaleiden esittelyssä ei käydä läpi perusmallintamista, vaan käytetyt erikoisemmat ominaisuudet, sillä tämän työn tarkoituksena ei ole olla CAD-mallintamisen (computer aided design) peruskurssi.

Työssä esitellään käytettävä CAD-ohjelma Solidworks ja sen täydentävä ohjelma 3Dxpert. Lisäksi työssä kerrotaan mitä 3D-tulostaminen on, mitä eri tulostustekniikat ja 3D-tulostusprosessi pitävät sisällään. Näiden esittelyjen pohjalta lukija saa kuvan käytettävän ohjelman ominaisuuksista ja 3D-tulostamisen eri muodoista.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selvitys Solidworksin sopivuudesta suunnittelutyökaluksi 3D-tulostettaville tuotteille. Tästä ja kahdesta muusta opinnäytetyöstä tehtiin myös yhtenäinen erillinen raportti, joka julkaistaan Tampereen ammattikorkeakoulun kotisivuilla. Lisäksi tutkimuksesta tehdään julkaisu, jota tarjotaan julkaistavaksi ammatillisessa tai tieteellisessä artikkelissa.

## **2 SOLIDWORKS**

### **2.1 Ohjelman historia**

Solidworks niminen yritys perustettiin joulukuussa 1993 Jon Hirschtickin toimesta. Nykyään Solidworks on ranskalaisen Dassault Systèmes -ohjelmistotalon omistama, ja vuonna 1995 ensimmäisen version julkaisema, CAD-ohjelma. Vaikka AutoCAD oli julkaistu paljon aikaisemmin, Solidworks toi uutena ominaisuutena 3D-mallintamisen, joka muutti insinöörien tavan tuoda heidän luomuksensa henkiin. Solidworks oli niin toimiva ohjelma, että vuonna 1997 Dassault Systèmes, joka aiemmin oli tunnettu parhaiten CATIA-ohjelmasta, osti sen 320 miljoonalla dollarilla. (Bethany 2017)

Solidworks on alusta alkaen tarjonnut täyden suunnittelupaketin käyttäjäystävällisesti ja helposti lähestyttävästi. Vaikka vuosien aikana ohjelmaan on lisätty useita lisäominaisuuksia, on Solidworks pitänyt kiinni helppokäyttöisyydestä ohjelman kaikilla osa-alueilla. (Solidworks 2018)

Solidworks julkaisee joka vuosi päivitetyn version ohjelmastaan ja versioita onkin jo alkuvuoteen 2018 mennessä ehtinyt ilmestyä 26 kappaletta. Nykyään ohjelmaa käyttää yli 2,2 miljoonaa tuotesuunnittelijaa ja -insinööriä yli 182 000 organisaatiossa eri puolilla maailmaa. Käyttäjiä löytyy laajalti teollisuuden, tutkimuksen ja tuotekehityksen, lääketieteellisuuden, kuluttajatuotteiden, koulutuksen, tekniikan ja liikenteen parista. (Solidworks 2018)

### **2.2 Ohjelman toiminta**

Solidworks on ensisijaisesti suuntautunut 3D-mallintamiseen ja siihen liittyviin lisäominaisuuksiin, vaikka ohjelma taipuu myös 2D-mallinnukseen. Solidworks on kuitenkin pitkään tähdännyt olemaan muutakin kuin pelkkä mallinnusohjelma. Solidworks tarjoaa käyttäjälleen työkalut simuloinnista ja sähkösuunnittelusta CAM-ohjelmaan, jolla voidaan yhdistää suunnittelu- ja valmistusprosesseja. (Bethany 2017)

Uusimmassa versiossa (2018) Solidworks tuo taas lisää uusia ominaisuuksia ohjelmaan. Tämän opinnäytetyön kannalta merkittävimpinä mainittakoon kirjautumismahdollisuus, verkkodatan käyttö ja kappaleen optimointi.

Kirjautumismahdollisuuden avulla ohjelmiston asetukset eivät enää ole kone- vaan käyttäjäkohtaisia. Tämä tarkoittaa, että käyttäjä voi tallentaa haluamansa asetukset Solidworks-tililleen, jotka sitten aktivoituvat kirjautuessa sisälle ohjelmassa.

Verkkodatan käyttö tarkoittaa Solidworksin uutta kykyä kääntää muualta tuotu verkkorakenne, tai STL-tiedosto, Solidworksin pintadataksi, jonka ansiosta kappaleen muokkaus onnistuu paremmin kuin edellisissä versioissa. Tämä ominaisuus toimii parhaiten normaaleilla geometrisillä muodoilla, kuten sylintereillä tai palloilla. Ohjelma ei kuitenkaan sovellu yhtä hyvin geometrisesti monimutkaisempien kappaleiden muokkaamiseen, joita on saatu esimerkiksi 3D-skannaamalla.

Kappaleen optimoinnilla ohjelma muokkaa mallia annettujen parametrien, esimerkiksi painon, mukaan. Ohjelma poistaa kappaleesta annettujen parametrien perusteella materiaalia säilyttäen rakenteen kestävyuden sille määrätyin rasiuksin.

### **2.3 3Dxpert**

3Dxpert on täydentävä sovellus Solidworks 2018 -versiolle, joka tarjoaa kattavat työkalut 3D-tulostettavan kappaleen muokkaukseen ja optimointiin, tukien sekä muovi- että metallitulostusta. Ohjelma on tarjolla vain Solidworks 3D CAD -tilaajille ja perusversion suppeammilla ominaisuuksilla tilaajat saavat ilmaiseksi.

Ohjelman toimii vastaavanlaisesti kuin mikä tahansa siivutusohjelma (printing slicer software), tarjoten muun muassa mahdollisuuden muokata tukirakenteita ja tulostusasetuksia. Muista siivutusohjelmista poiketen 3Dxpert ottaa vastaan ja muokkaa kappaletta alkuperäisessä CAD-tiedostomuodossa STL-tiedoston sijaan. Koska tulostettavan kappaleen dataa ei tarvitse muuttaa STL-muotoon, dataeheys, analyttinen geometria, kappaletopologia ja värikoodaus kappaleessa säilyvät. Ohjelma tarjoaa täydet CAD-työkalut kappaleen muokkaukseen, joka on mahdollista tiedostomuodon vuoksi. (3D systems n.d.)

3Dxpertin yksi parhaimmista puolista on helppo ja monipuolinen verkkorakenteiden teko. Ohjelma tarjoaa valikoiman erilaisia verkkorakenteita, mutta ohjelmaan voidaan tuoda myös toisella ohjelmalla suunniteltu rakenne. Ohjelmasta löytyy myös erilaisia pintaverkkorakenteita, joita voidaan käyttää esimerkiksi lääketieteellisten kappalaiden tulostuksessa. (3D systems n.d.)

3Dxpert tarjoaa yhdessä paketissa lähes kaiken mahdollisen, mitä 3D-tulostamiseen vaaditaan. Ohjelmaa voidaan käyttää muun siivutusohjelman sijaan, tai vaikka pelkästään verkkorakenteen muodostamiseen. Jos halutaan käyttää toista siivutusohjelmaa, 3Dxpertistä on mahdollista ottaa STL-tiedosto kappaleesta ulos ja siirtää se toiseen ohjelmaan.



### 3 3D-TULOSTAMINEN

#### 3.1 3D-tulostaminen ja sen historia

3D-tulostaminen on prosessi, jossa tehdään kolmiulotteinen kiinteä objekti digitaalisesta tiedostosta. Kolmiulotteinen kappale saavutetaan lisäämällä kerros kerrallaan materiaalia päällekkäin kunnes muoto on valmis. Tästä tulee myös usein käytetty englanninkielinen nimitys Additive Manufacturing (AM). 3D-tulostaminen on käänteinen valmistusmenetelmä perinteisiin menetelmiin verrattuna, kuten esimerkiksi sorvaaminen, joissa kappale muodostuu poistamalla palasia aihioista. Tämä mahdollistaa monimutkaisempien kappaleiden valmistamisen perinteisiin meneltiin verrattuna. (3D printing n.d.)

3D-tulostaminen lähti liikkeelle 1980-luvulla, jolloin siitä puhuttiin vielä nimellä Rapid Prototyping (RP). Vuonna 1980 tohtori Hideo Kodama yritti saada 3D-tulostamiseen liittyvää patenttia, mutta hän epäonnistui unohtaessaan vuoden mittaisen aikarajan. Ensimmäinen onnistunut patentti saatiin vuonna 1986, ja sen omisti amerikkalainen keksijä Charles Hull vuonna 1983 kehittämälleen SLA-tulostimelle (stereolitografia). Hull jatkoi uraansa ja oli mukana perustamassa DTM Inc. -yritystä, jonka 3D Systems Corporation myöhemmin hankki itselleen. (Flynt 2018)

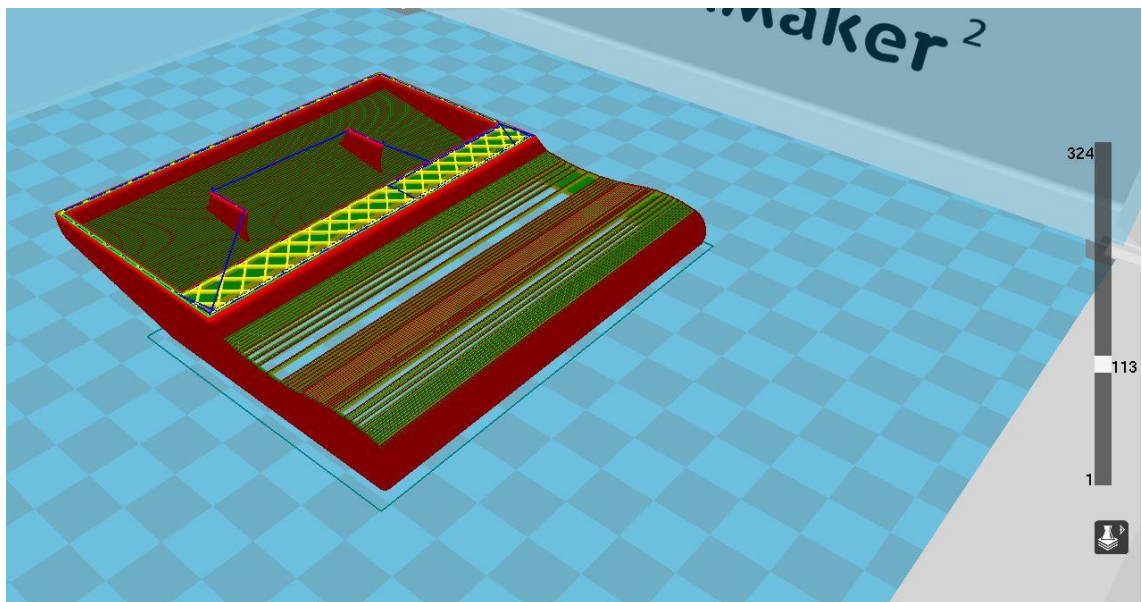
2000-luvun alussa 3D-tulostaminen tuli suuremman yleisön tietoisuuteen. 3D-tulostamista alettiin käyttää muun muassa lääketieteessä, jossa ihmiselle saatiin tehtyä uusi rakko 3D-tulostamalla. Myös tulostustekniikat kehittyivät ja monet uudet tekniikat tulivat kaupallisesti saataviksi tulostimien hintojen tippuessa ja niiden käytettävyyden parantuessa. (Flynt 2018)

Nykyään 3D-tulostimet ovat levinneet joka puolelle yhteiskuntaa. Tulostimia löytyy kouluista, työpaikoilta ja jopa monet yksityishenkilöt ovat hankkineet oman tulostimensa harrastus- ja viihdekäyttöön. Kehitys on nopeaa ja uusia innovaatioita syntyy koko ajan. Tulevaisuutta on vaikeaa ennustaa, mutta 3D-tulostaminen tulee kehittymään vielä paljon ja pitkään. (Flynt 2018)

### 3.2 Tulostusprosessi

Tulostusprosessi aloitetaan tekemällä digitaalinen malli halutulla CAD-ohjelmalla, tämän opinnäytetyön kohdalla Solidworks, tai vaihtoehtoisesti 3D-skannaamalla jo olemassa oleva kappale, joka halutaan tulostaa. Kun kappale on valmis, pitää CAD-malli kääntää STL-malliksi. STL-malli käyttää kolmioita kappaleen pintojen kuvaamiseen, ja se on kieli, jonka avulla tietokone ja 3D-tulostin ymmärtävät toisiaan. Monissa CAD-ohjelmistoissa, mukaanlukien Solidworks, on mahdollisuus tallentaa kappale STL-muodossa.

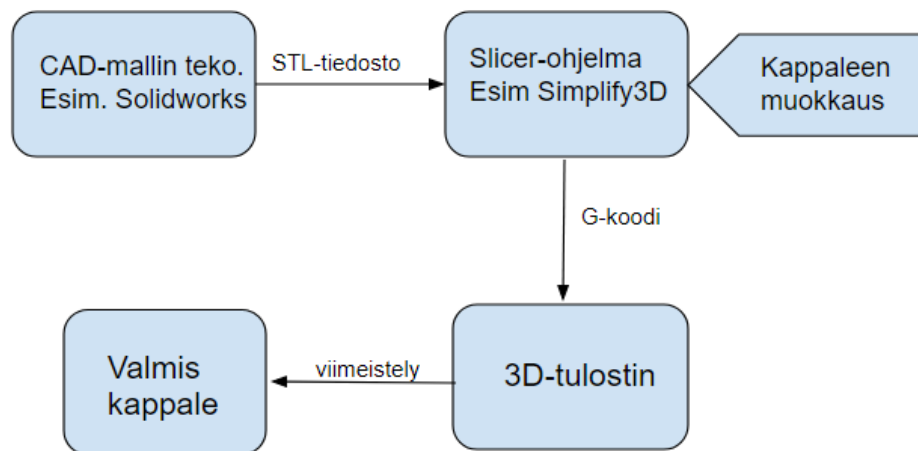
STL-tiedosto avataan siivutusohjelmassa, kuten esimerkiksi 3Dxpert tai Cura, jossa se tallennetaan G-koodiksi. G-koodi on NC-ohjelmointikieli (numerical control), jota käytetään automaattisten koneiden ohjauksessa. Siivutusohjelma jakaa kappaleen tulostustasoihin, joita tulostin myöhemmin ryhtyy tekemään (kuva 1). Ohjelmassa voidaan myös muokata kappaletta ja päättää muun muassa, tulostetaanko kappaleen seinät umpinaisina vai jonkinlaisella ristikolla, jotta tulos nopeutuu, kappale kevenee ja tulostusmateriaalia ei kulu yhtä paljon. Samalla voidaan myös säätää kappaleen asentoa, lisätä tukimateriaalia tarvittaviin kohtiin ja asettaa tulostimen asetukset halutuiksi.



KUVA 1. Curan tekemät tulostustasot

Valmis G-koodi siirretään SD-kortille, joka laitetaan printteriin sisälle. Tämän jälkeen tulostimen valikosta etsitään SD-kortti ja sen sisällä oleva ohjelma, jonka jälkeen tulostus

voi alkaa. Tulostamisen jälkeen kappaleesta poistetaan vielä tukimateriaalit, jos niitä käytettiin, jonka jälkeen kappale on valmis. Prosessia on havainnollistettu kuviossa 1.

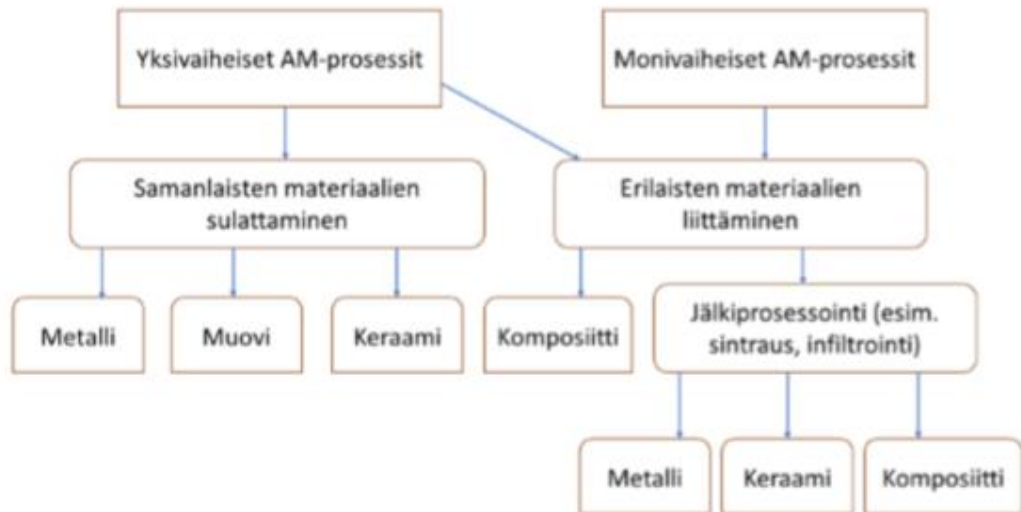


KUVIO 1. 3D-tulostusprosessi

### 3.3 Tulostustekniikat

3D-tulostamiseen löytyy useita eri vaihtoehtoja. Kaikki teknologiat ovat materiaalia lisääviä, suurimpana erona vain, miten tulostettava kerros tehdään kappaleen muodostamiseksi. Toisissa tekniikoissa materiaalia sulatetaan tai pehmennetään ja lisätään päällekkäin, kun taas toisissa käytetään valolähdettä kovettamaan rakennusaine kerros kerrokselta. (3D printing n.d.)

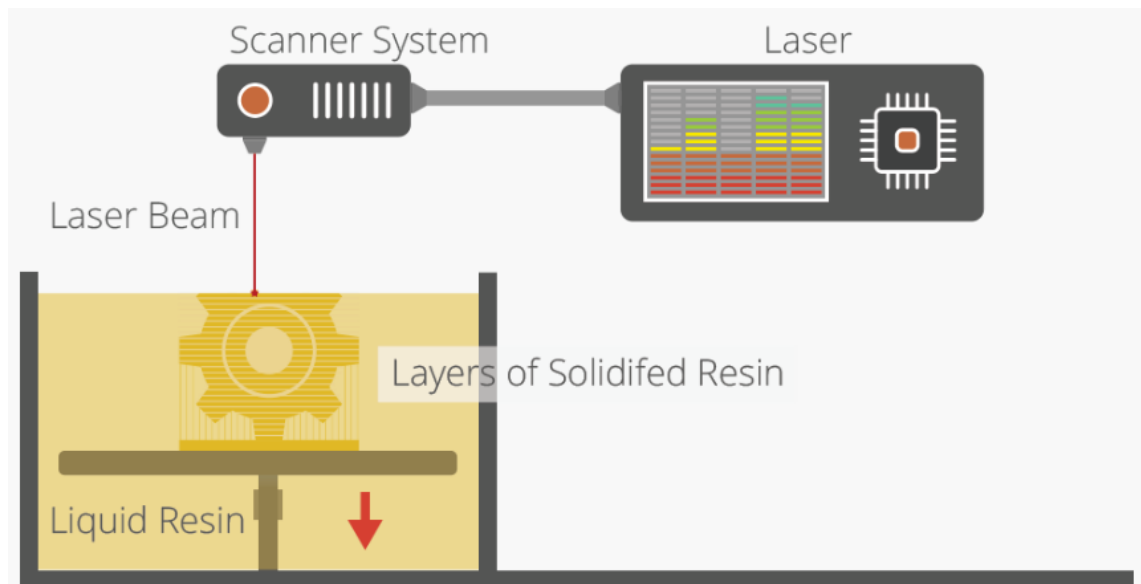
Materiaalia lisäävät valmistusprosessit voidaan jakaa yksi- ja monivaiheisiksi prosesseiksi käytettävän materiaalin mukaan (kuvio 2). Yksivaiheisissa prosesseissa kappale muodostetaan yhdellä prosessivaiheella. Monivaiheisissa prosesseissa kappale saa geometriansa ensimmäisessä vaiheessa ja sen jälkeen materiaaliominaisuutensa toisessa prosessivaiheessa. (Vehmaa 2017, 12)



KUVIO 2. Materiaalia lisäävät prosessit (Vehmaa 2017, 12)

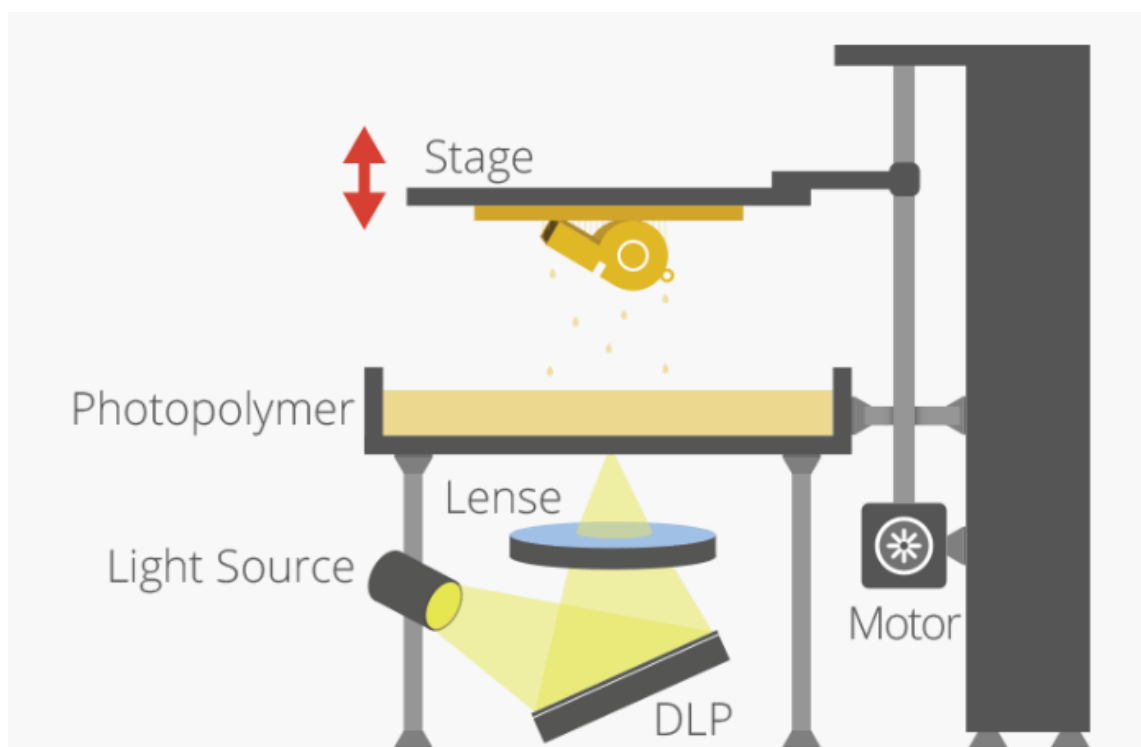
### 3.3.1 Nesteen fotopolymeerointi

Fotopolymeeroinnissa altaassa olevaa fotopolymeeria kovetetaan valolla. Yleisimmät valmistusmenetelmät ovat stereolitografia (SLA) ja digitaalisen valoprosessi (DLP). Näistä stereolitografia on yleisimmin käytetty ja oli ensimmäinen 3D-tulostamisen muoto. Stereolitografiassa ultraviolettiaserä käytetään kovettamaan neste ja liittämään se alla olevaan kerrokseen. Tämän jälkeen taso, jolle kappale muodostetaan, laskee halutun kerrospaksuuden verran ja koneessa oleva veitsi levittää uuden kerroksen nestettä pinnalle. Koska kappale kelluu altaassa, se tarvitsee tukirakenteita, jotka samalla pitävät sen kiinni tasolla. Fotopolymeerointi on esitetty kuvassa 2. (3D printing n.d.)



KUVA 2. Stereolitografia (SLA) (3D printingindustry n.d.)

Digitaalisessa valoprosessissa idea on sama kuin stereolitografian käytössä. Eroina ovat perinteisempi valolähde, ylösalaisin oleva taso ja matalampi nestesäiliö, mikä vähentää jätettä ja käyttökuluja. Lisäksi DLP on yksi nopeimmista 3D-tulostusmenetelmistä, ja se on havainnollistettu kuvassa 3. (3D printingindustry n.d.)

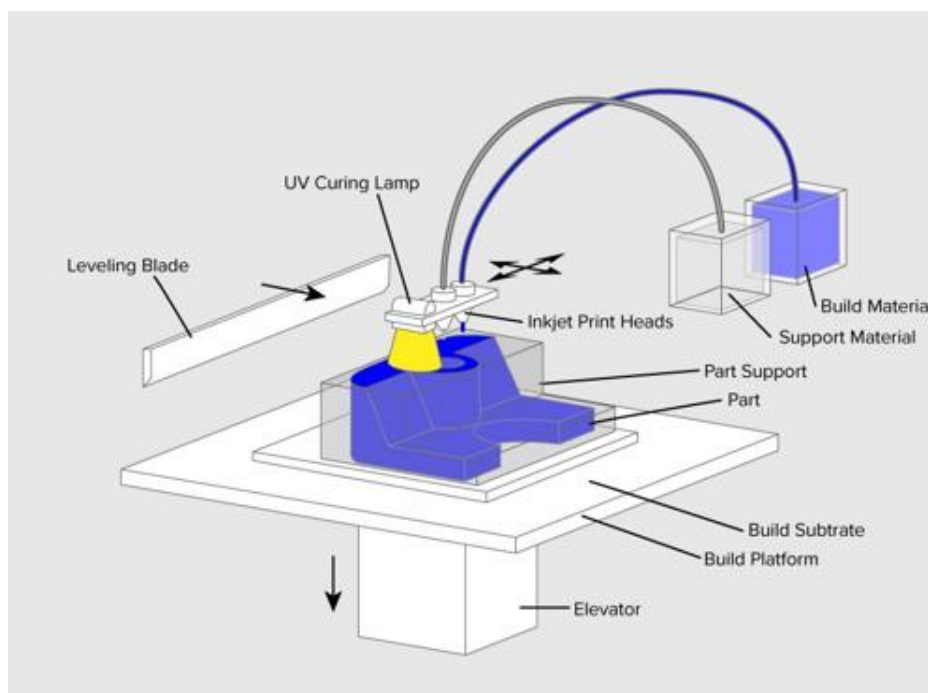


KUVA 3. Digitaalinen valoprosessi (DLP) (3D printingindustry n.d.)

### 3.3.2 Materiaaliruiskutus

Materiaali ruiskutetaan pisaroina tasolle ja kovetetaan kohdennetusti UV-valolla. Materiaaliruiskutuslaitteessa voidaan usealla suuttimella ruiskuttaa eri materiaaleja, mikä mahdollistaa kappaleen muodostamisen useammasta materiaalista. Pääasiassa materiaaliruiskutusta käytetään kuitenkin fotopolymeereille ja vahan tulostukseen. (3D printingindustry n.d.)

Tämän menetelmän parhaimpia ominaisuuksia ovat hyvä ja tasainen pinta, monipuoliset materiaali- ja värimahdollisuudet sekä yksi tarkimmista tulostusjäljistä. Huonoina puolina tekniikka vaatii usein tukirakenteita ja materiaalit ovat rajoittuneet fotopolymeereihin ja vahaan. Materiaaliruiskutus on esitetty kuvassa 4. (3D printingindustry n.d.)



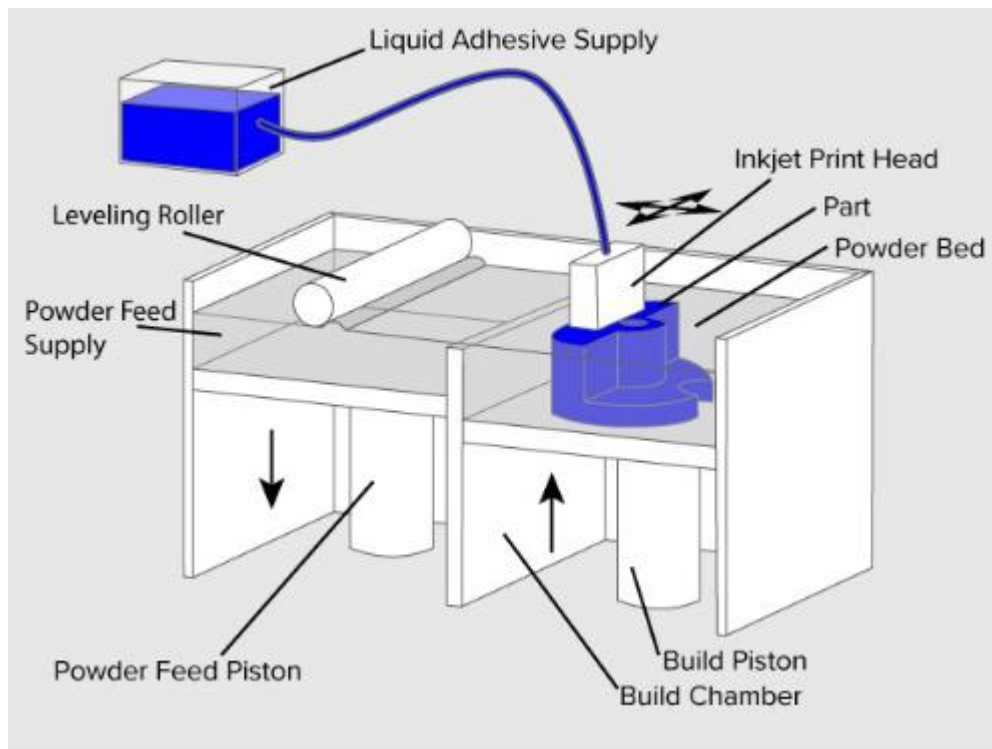
KUVA 4. Materiaaliruiskutus (3D printing n.d.)

### 3.3.3 Sideaineruiskutus

Sideaineruiskutuksessa käytetään kahta materiaalia: jauhemaista pohjamateriaalia ja nestemäistä sideainetta. Jauhe on laatikossa ja sideaine ruiskutetaan suuttimesta ohjelmoidulle kuviolle, näin muodostaen halutun kerroksen, jonka jälkeen taso laskee

kerrospaksuuden verran ja tasausterä tasoittaa uuden kerroksen pohjamateriaalia kappaleen päälle. Ylijäämäpohjamateriaali voidaan käyttää uudelleen seuraavassa tulostuksessa. Tulostettaviin materiaaleihin kuuluu kipsi, keraamit, metallit ja polymeerit. (3D printingindustry n.d.)

Tämän menetelmän etuina ovat laajat materiaali- ja värivaihtoehdot, nopea tulostus muihin tulostusmenetelmiin verrattuna sekä tukimateriaaleja ei tarvita pohjamateriaalin ansiosta. Huonoja puolia ovat sideaineen rajoitukset tehdessä rakenneosia sekä usein jälkikäsittelyn tarve, joka lisää tulostukseen kuluva kokonaisaika. Sideaineruiskutus on havainnollistettu kuvassa 5. (3D printingindustry n.d.)

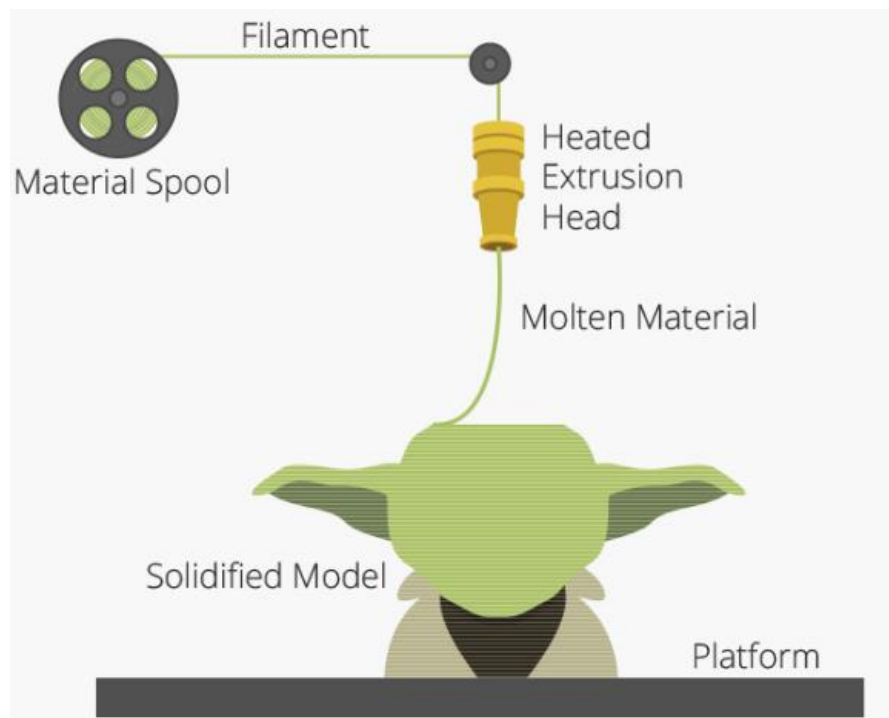


KUVA 5. Sideaineruiskutus (3D printing n.d.)

### 3.3.4 Materiaalin pursotus

Materiaalin pursotuksessa materiaali annostellaan kohdennetusti suuttimen tai reiän läpi, joka sulattaa materiaalin. Pehmeä materiaali kovettuu jäähtyessään muodostaen kappaleen kerroksen. Menetelmä on esitelty kuvassa 6. Materiaalin pursotus on tällä hetkellä kaikista tunnetuin 3D-tulostamisen menetelmä. Yleisin pursotusmenetelmä on fused deposition modeling (FDM), josta patenttikiistojen vuoksi on tehty lähes vastaava

prosessi nimeltään freeform fabrication (FFF). Pursotettava materiaali on yleensä polymeeria, mutta nykyään muun muassa sähköjohtavia ja orgaanisiaakin materiaaleja tulostetaan. (3D printingindustry n.d.)



KUVA 6. Materiaalin pursotus (3D printingindustry n.d.)

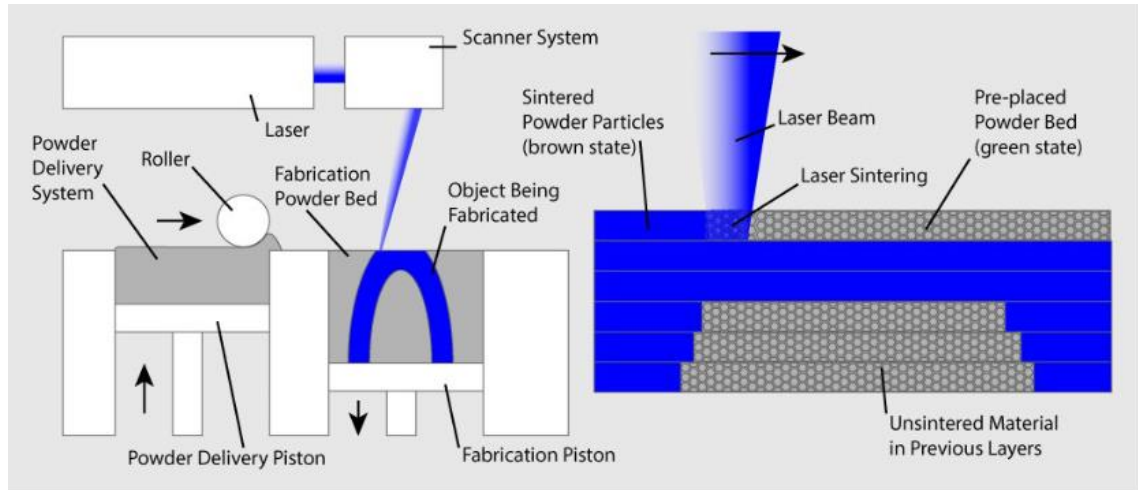
Tulostusmenetelmänä materiaalin pursotus on helpoin tapa aloittaa 3D-tulostusharrastus. Tulostimien hinnat ovat laskeneet ja aloituskynnys madaltunut. Pursotus kuitenkin rajoittaa kappaleiden suunnittelua, sillä se ei ole kaikista tarkin tulostusmenetelmä ja lisäksi monimutkaisempien geometristen kappaleiden tulostaminen on yleensä hankalaa ja vaatii paljon tukirakenteita. Muihin tulostusmenetelmiin verrattuna materiaalin pursotus on hidas ja epätarkka menetelmä. (3D printingindustry n.d.)

### 3.3.5 Jauhepetimenetelmä

Jauhepetimenetelmässä lämpöenergia sulattaa jauhepedin kohdennettuja alueita, jonka jälkeen päälle levitetään uusi kerros jauhetta. Yleisin menetelmä on selective laser sintering (SLS), jossa laser yhdistää muovin, keraamin tai lasijauheen partikkelit toisiinsa muodostaen halutun kerroksen. Toinen yleinen jauhepetimenetelmä on nimeltään direct metal laser sintering (DMLS), joka on käytännössä sama prosessi, mutta materiaalina toimii metalli. (3D printingindustry n.d.)



Jauhepetimenetelmällä voidaan valmistaa monia eri materiaaleja eikä tukirakenteita vaadita. Lisäksi jauhepetimenetelmä on melko halpa. Huonoina puolina menetelmässä on verrattain hitaus, suuri energiankulutus ja valmiin kappaleen melko huonot rakenneominaisuudet. Jauhepetimenetelmä on havainnollistettu kuvassa 7. (3D printingindustry n.d.)

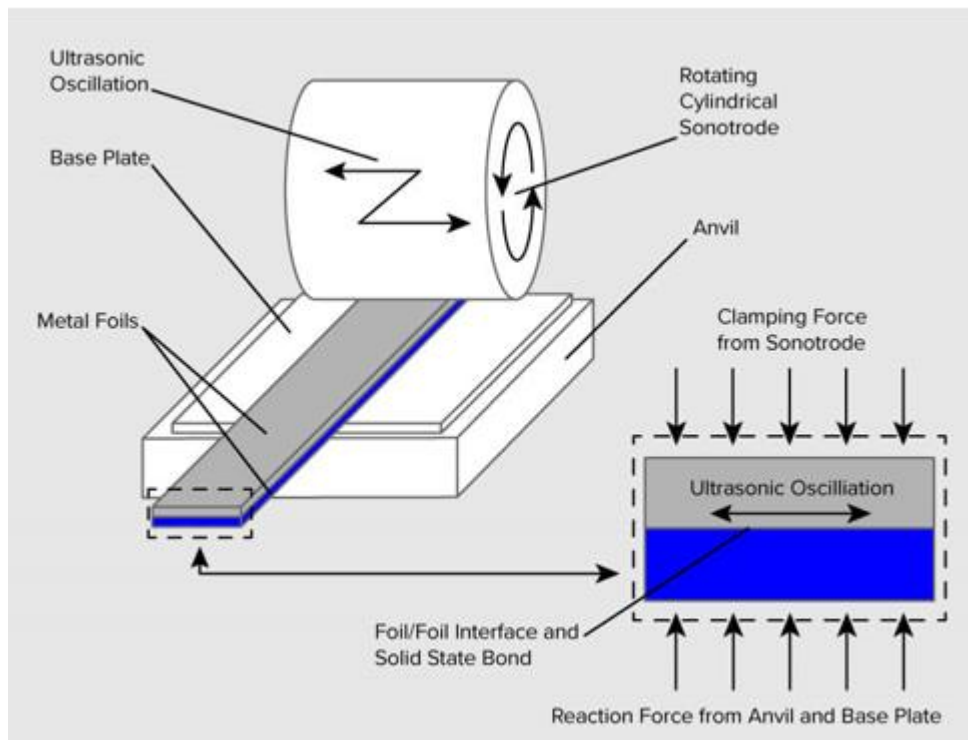


KUVA 7. Jauhepetimenetelmä (3D printing n.d.)

### 3.3.6 Laminointi

Laminointi tapahtuu liittämällä materiaalilevyjä toisiinsa ulkopuolisella voimalla. Levyt voivat olla metallia, paperia tai polymeeria. Kiinnitys voi tapahtua esimerkiksi metallin tapauksessa ultraäänihitsauksella tai paperin tapauksessa liimalla. Kerros muodostuu laminoimalla materiaalilevyt ensin kiinni toisiinsa, jonka jälkeen ne leikataan haluttuun muotoon. (3D printingindustry n.d.)

Laminointi on menetelmänä nopea ja halpa, mutta lopputulos riippuu paljon käytetystä materiaalista ja vaatii yleensä jälkikäsittelyä. Laminointia ei voi myöskään käyttää monelle eri materiaalille. Menetelmä on esitelty kuvassa 8. (3D printingindustry n.d.)

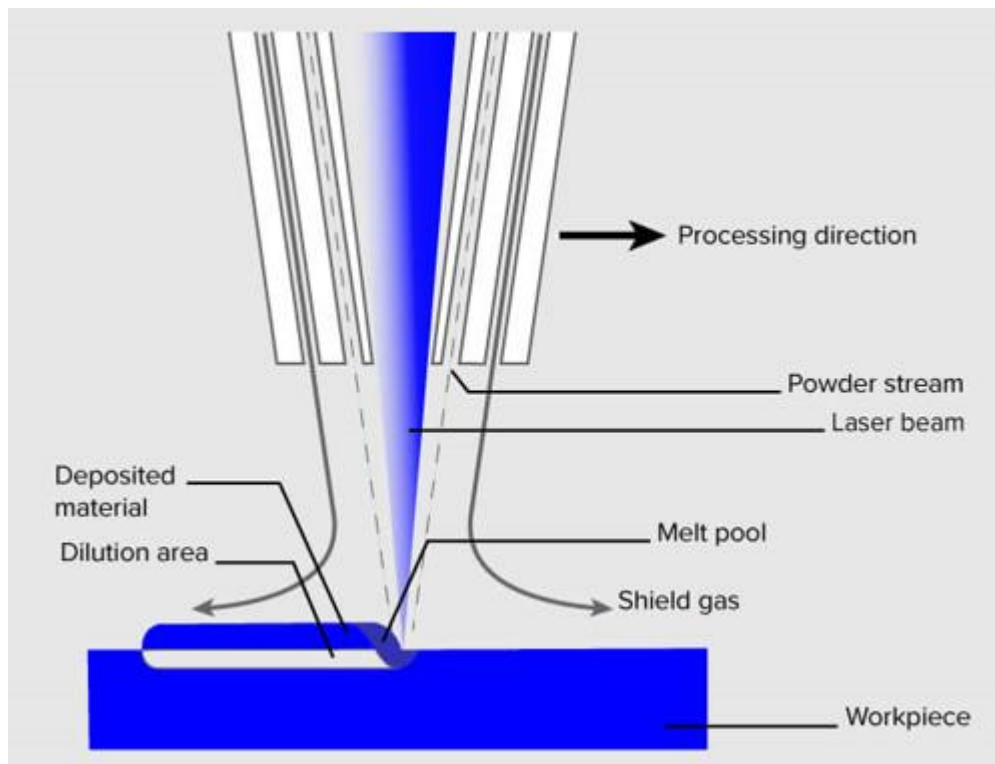


KUVA 8. Laminointi (3D printing n.d.)

### 3.3.7 Suorakerrostus

Suorakerrostusta käytetään useimmiten vain erikoismetalliyrityksissä. 3D-tulostin on yleensä kiinnitettynä moniakseliseen robottiin ja se koostuu kärjestä, joka syöttää metallijauhetta tai lankaa, sekä energialähteestä, kuten laserista tai elektronisuihkusta, joka sulattaa aineen muodostaen kappaleen. (3D printingindustry n.d.)

Tulostusmenetelmänä suorakerrostus ei ole niin tarkka kuin esimerkiksi jauhepetimenetelmä, mutta sitä voidaan käyttää erityisesti erilaisiin korjauksiin ja muihin erikoistoimenpiteisiin. Suorakerrostus on esiteltyä kuvassa 9. (3D printingindustry n.d.)

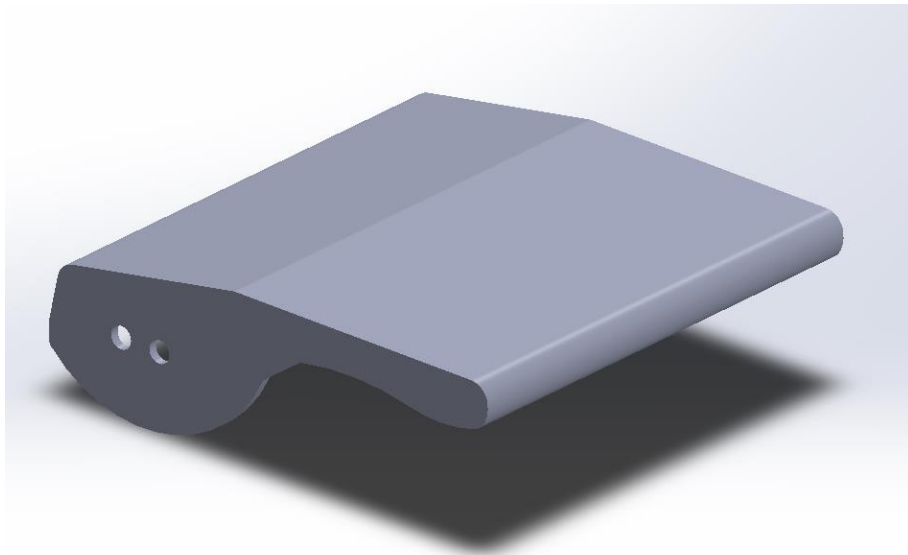


KUVA 9. Suorakerrostus (3D printing n.d.)

## 4 KAPPALEIDEN VALMISTUS

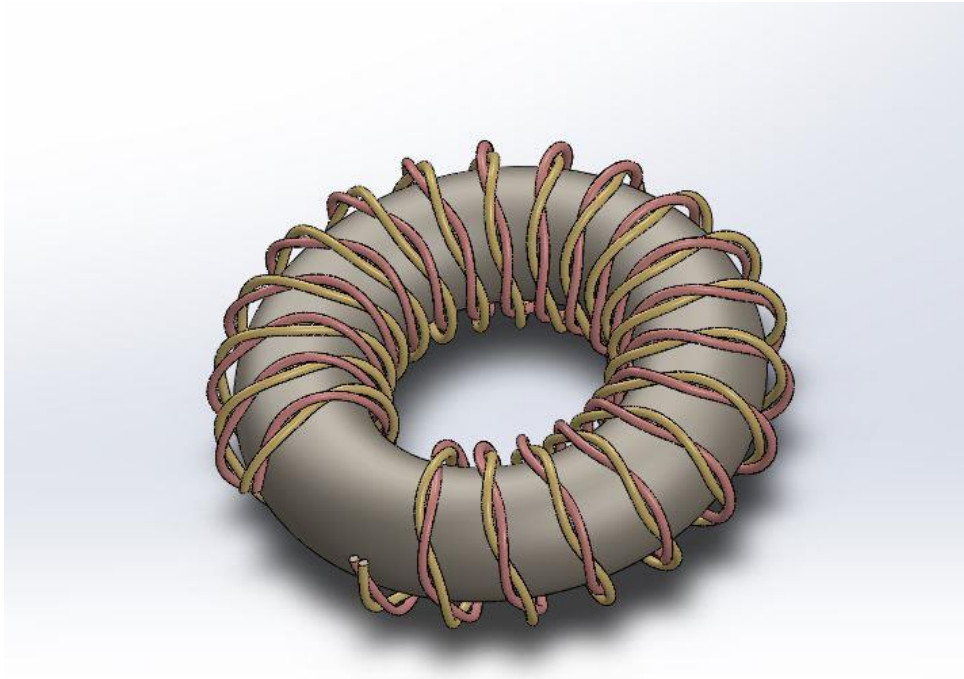
### 4.1 Kappaleiden mallintaminen

Koska tämä opinnäytetyö oli osa kolmen työn kokonaisuutta, piirrettävät kappaleet päätettiin yhdessä kahden muun tekijän kanssa. Kappaleiden suunnittelun alkuehtoina oli tehdä yksi kappale orgaanisella rakenteella, yksi verkkorakenteella ja yksi monimutkaisempi kappale. Näistä kahden ensimmäisen kappaleen kohdalla sovittiin suunniteltavaksi kappaleeksi paperin lävistäjän paininosa, josta valmistettiin malli koululta saadusta lävistäjästä (kuva 10).



KUVA 10. Painimen malli

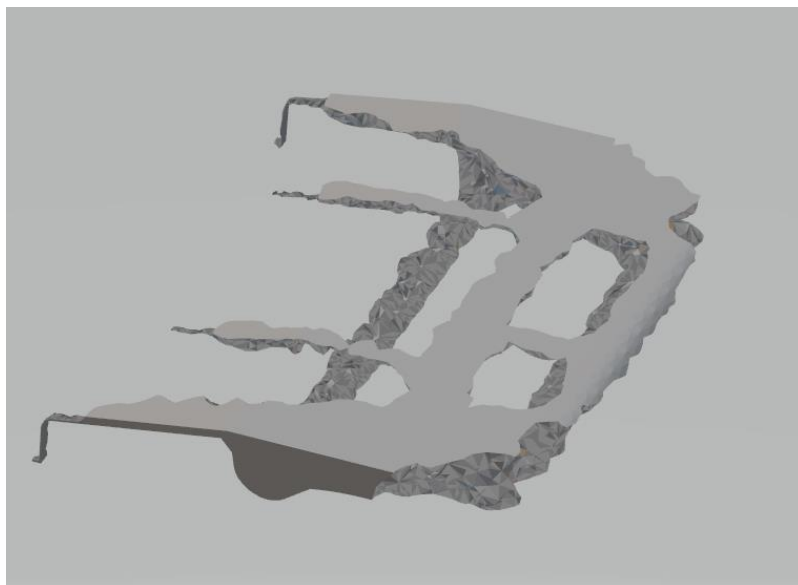
Kolmantena kappaleena tarkoituksena oli suunnitella hieman monimutkaisempi kappale, joka sisältäisi erilaisia geometrisiä ominaisuuksia. Päädyimme suunnittelemaan toroidin muotoisen käämin (kuva 11), jonka tulostettavat muodot eroavat kahdesta muusta kappaleesta.



KUVA 11. Toroidikappale

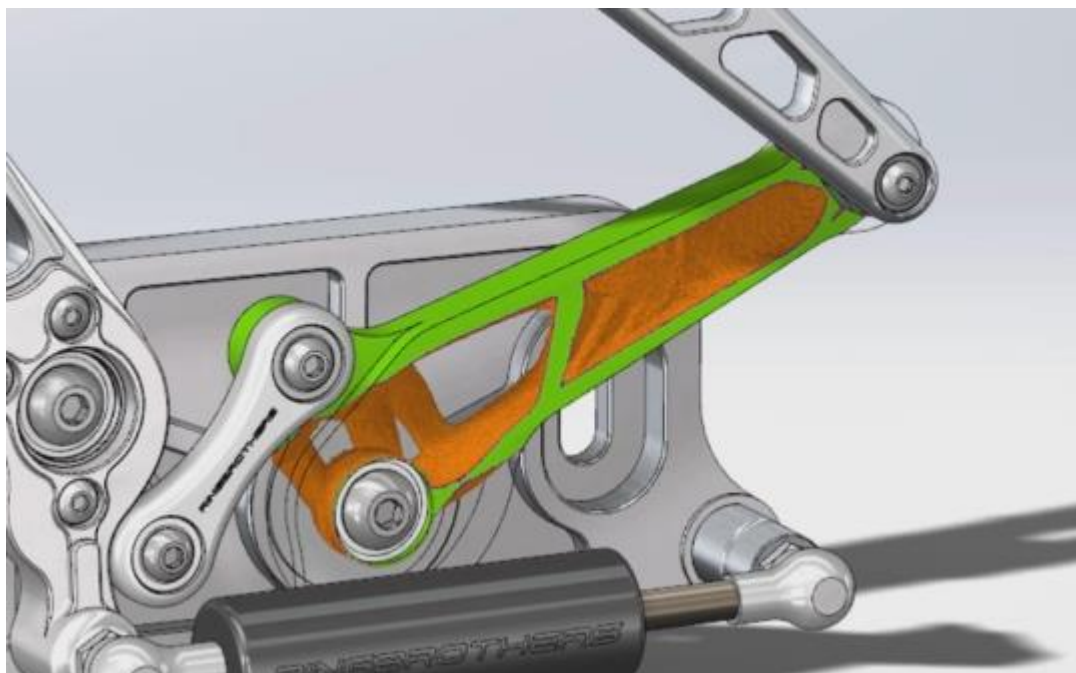
#### 4.1.1 Orgaaninen rakenne

Kappaleen pohjana käytettiin painimesta tehtyä mallia. Saimme topologisesti optimoidun valmiin mallin, jossa kappaleesta oli poistettu kaikki turha materiaali säilyttäen kuitenkin tarvittava kestävyys painimen käytölle. (kuva 12)



KUVA 12. Topologisesti optimoitu painin

Suunniteltavan kappaleen tarkoituksena oli tehdä nimenomaan optimoitu rakenne, jollaisia esimerkiksi orgaanisesta maailmasta löytyy. Solidworks 2018 tarjoaa uutena ominaisuutena juuri tämän saman optimoinnin. Valitettavasti koulun tarjoamat lisenssit Solidworksille eivät riittäneet sen käyttöön, mutta kyseinen ominaisuus helpottaa optimoitujen kappaleiden tekoa ja vähentää tarvetta käyttää eri ohjelmistoja. Kuvasta 13 nähdään Solidworksin esittelyvideon (Solidworks 2017) optimoitu kappale, sekä kuvasta 14 nyt tässä työssä tilalle tehty peruskappale 3D-tulostamista varten.



KUVA 13. Optimoitu rakenne (Solidworks 2017)



KUVA 14. Muokattu peruskappale

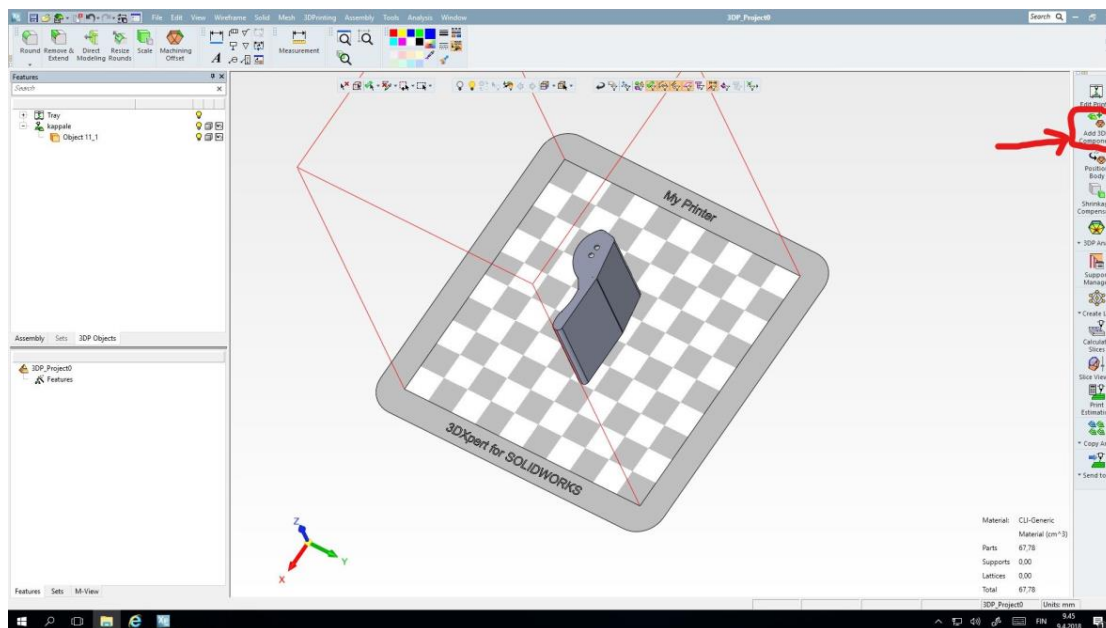
Koska orgaanisen rakenteen teko jäi teoriatasolle, on ensimmäiseen kappaleeseen lisätty vain hieman erilaista muotoa, keventään kappaletta, lehtiruotien muotoja mukaillen.

Kappaleeseen tuli paljon lisää jyrkkiä kulmia, jolloin kappaleen tulostamisessa se pitää kääntää päällisosa alaspäin. Näin vältetään suurimmalta osalta ylimääräisiä tukirakenteita.

#### 4.1.2 Verkkorakenne

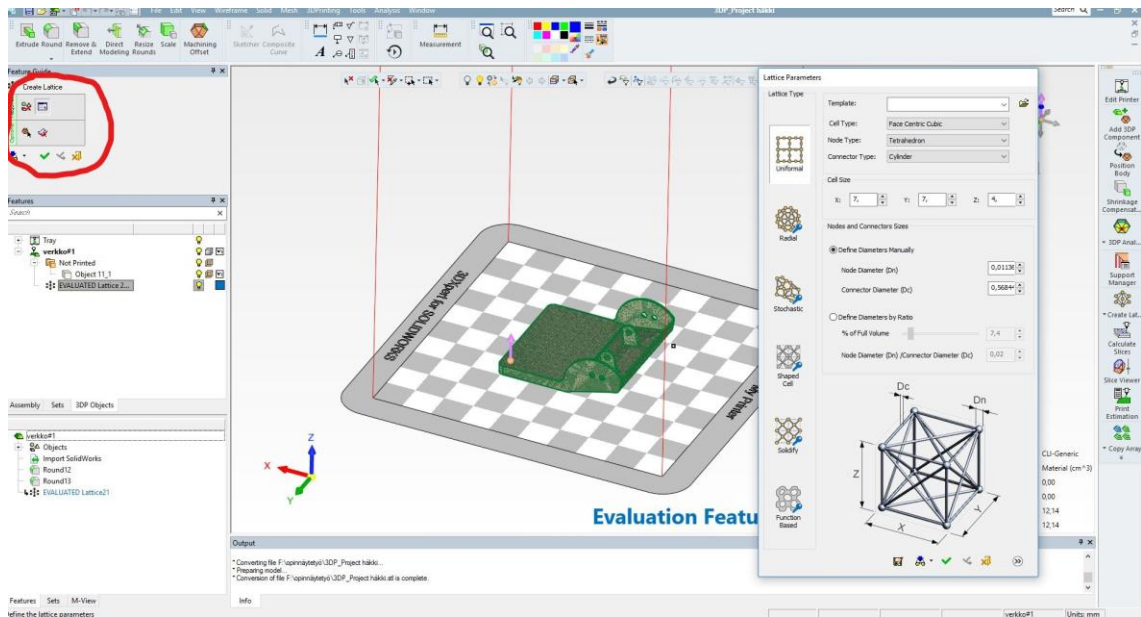
Verkkorakenteen (mesh) suunnittelussa ja testauksessa käytettiin myös paperin lävistäjän paininta. Kappaleeseen lisättiin verkkorakennetta, jolloin osasta tuli keveämpi. Verkkorakenteen tekoon käytettiin tässä työssä 3Dxpert-ohjelmaa. Ohjelman perusnäkömän painikkeiden selitykset löytyvät liitteestä 1.

Verkkorakenteen teko aloitettiin tuomalla valmis CAD-tiedosto ohjelmaan painamalla oikeassa yläkulmassa olevaa Add 3DP component -painiketta (kuva 15). Tämän jälkeen kappale pyöritettiin haluttuun asentoon ja avattiin verkkorakenteen tekoikkuna painamalla Create Lattice -painiketta (kuva 16). Verkkorakenteena käytettiin ylintä uniformal-vaihtoehtoa, lisenssirajoitusten vuoksi. Avautuneesta valikosta voitiin määritellä solu-, solmu- ja kiinnitystyypit sekä niiden koot.



KUVA 15. Kappaleen tuonti ohjelmaan

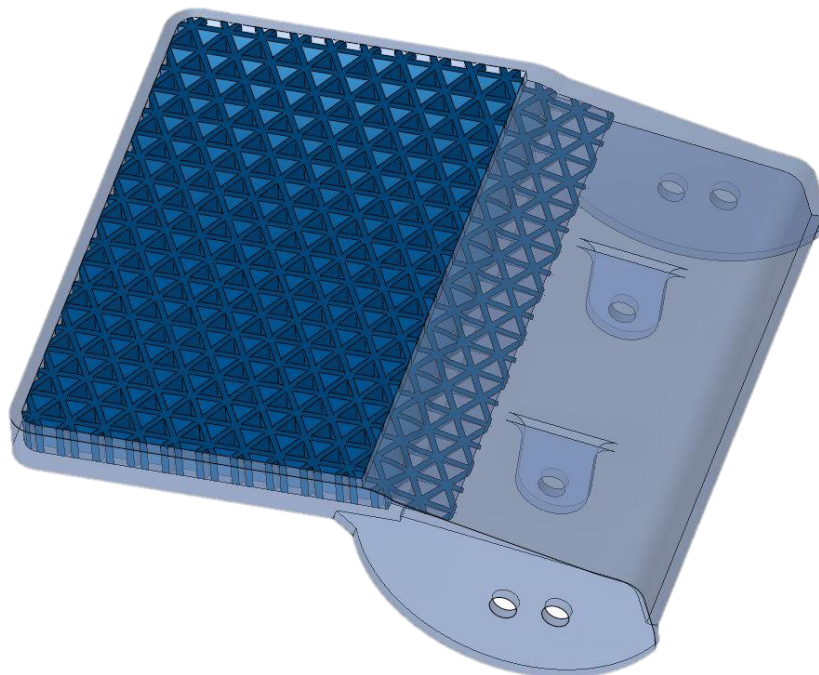




KUVA 16. Verkon teko

Kun verkkorakenteen tekoikkuna on auki, voidaan vasemmalta puolelta löytyvillä painikkeilla valikoida kappaleesta alueet, joille haluttu verkkorakenne tehdään. Kyseiset painikkeet ovat ympyröitynä kuvassa 16.

Kun halutut asetukset on laitettu ohjelmaan, ne hyväksytään, ja ohjelma tekee verkkorakenteen kappaleeseen (kuva 17). Verkon muokkaaminen onnistuu vielä tämän jälkeen, kuten Solidworksin puolellakin, vasemman puoleisesta valikosta.



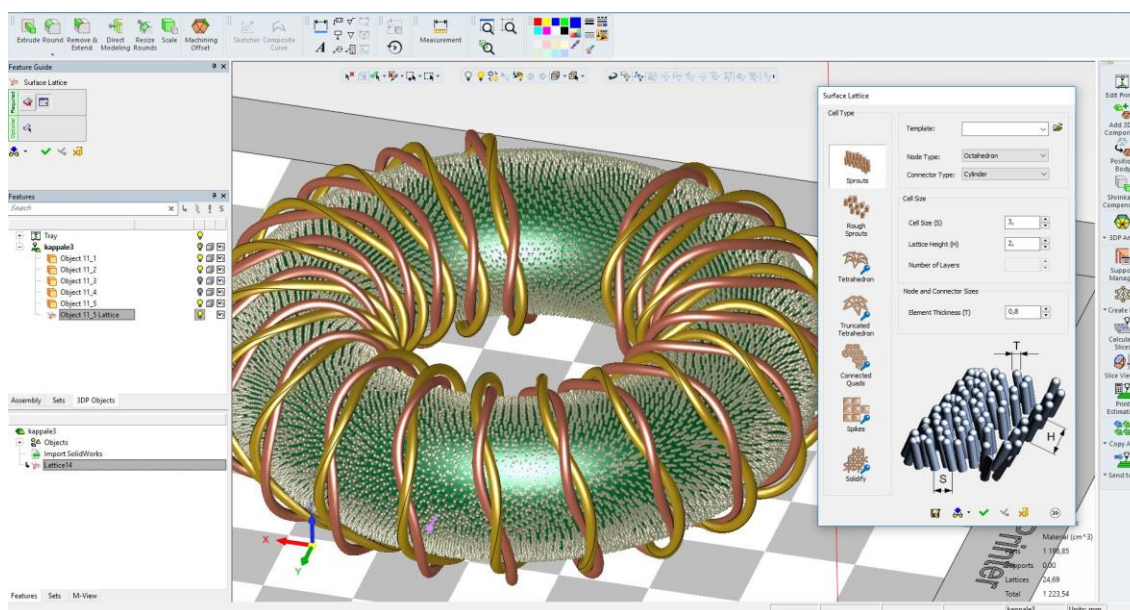
KUVA 17. Valmis verkkorakenne



### 4.1.3 Toroidikappale

Kolmantena kappaleena suunniteltiin toroidin muotoinen, vastusta muistuttava, kappale. Kappale piirrettiin ensin Solidworksin avulla seuraten opetusvideota (Design skills 2015). Piirtäminen aloitettiin toroidista ja sen jälkeen lisättiin kiertävät kierrelangat.

Kun kappale oli valmis, se avattiin 3Dxpertillä, kuten edellinenkin kappale. 3Dxpertin puolella kappaleen toroidiosaan lisättiin ohjelmasta löytyvä pintaverkko. Ohjelmasta löytyy taas monta erilaista vaihtoehtoa, mutta tässä kappaleessa käytettiin ilmaista sprouts-rakennetta. Pintaverkon teko löytyy saman painikkeen alta, kuin normaalin verkonkin teko, ja verkon rakennetta pystytään muokaamaan avautuvasta valikosta. Muokattavina ominaisuuksina sprouts-verkossa on solu- ja kiinnitystyyppi, niiden koot ja kerrosten määrä. Valmis toroidikappale ja sen pintaverkkorakenteen tekoikkuna ovat esiteltyinä kuvassa 18.

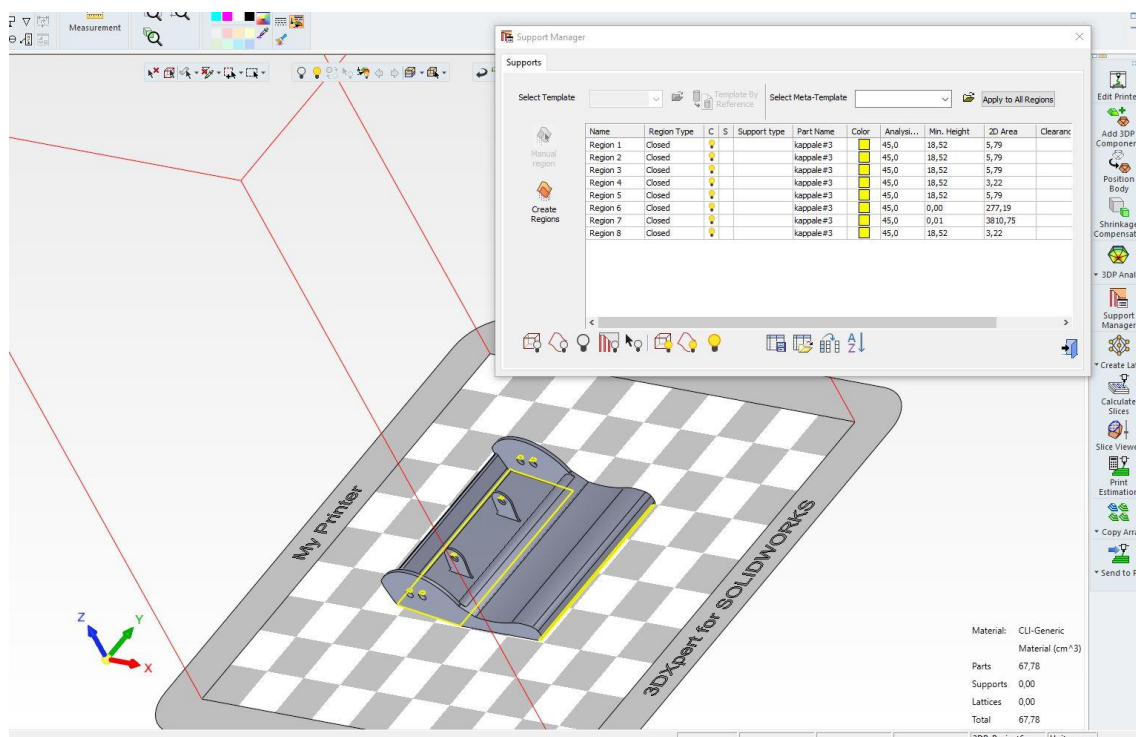


KUVA 18. Toroidi pintaverkolla

## 4.2 Kappaleiden tulostaminen

Kappaleiden suunnittelussa keskityttiin ensisijaisesti löytämään käytetyistä sovelluksista parhaat työkalut erikoisten muotojen, kuten verkkorakenteen, tekoon. Tehdyt kappaleet eivät ole välttämättä kaikilla tulostusmenetelmillä helposti tulostettavia, vaikka oikealla asettelulla muun muassa tukirakenteiden määrää saadaan vähennettyä. Paperin lävistäjän

tapauksessa esimerkiksi kappaleen asettelu ylösalaisin poistaa suurimman osan tarvittavista tukirakenteista, joita normaalisti tarvitaan tukemaan yli 45 asteen kulmissa olevia tasoja (kuva 19).



KUVA 19. Paperin lävistäjän tukirakenteiden tarkastelunäkymä

Koska työssä keskityttiin sovellusten ominaisuuksiin, itse kappaleita ei koskaan tulostettu. Kahden kappaleen verkkorakenteiden suunnittelulla testattiin mihin ohjelmat pystyvät. Mikäli nämä kappaleet haluaisi tulostaa, olisi niiden verkkorakenteita muokattava tulostinystävällisempään muotoon, riippuen käytettävästä tulostusmenetelmästä ja sen tarkkuudesta.

Kappaleita tulostettaessa pitää myös ottaa huomioon, mitä 3D-tulostinta käytetään. 3Dxpert toimii monen tulostimen kanssa, mutta jotkut tulostimet vaativat tietyn siivutusohjelman. Mikäli 3Dxpert ei tulostimelle sovi, täytyy malli ottaa STL-tiedostona ohjelmasta ulos ja siirtää toiselle siivutusohjelmalle.

## 5 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää parhaat käytännöt kappaleiden suunnitteluun ja tulostamiseen Solidworksin työkaluja käyttäen. Solidworks ohjelmana on yksi helpoimmin omaksuttavista suunnitteluohjelmistoista, eikä 3Dxpert tee lisäosana poikkeusta. Opetusvideoita Solidworksin perusasioista löytyy joka tilanteeseen, mutta uudemmilla ominaisuuksilla, joista monet ovat 3D-tulostamiseen tarkoitettuja, ei vielä löydy käyttöohjeita. Tämä tosin tulee todennäköisesti muuttumaan jo vuoden 2018 aikana.

3Dxpert on työkalu, jota kannattaa jokaisen 3D-tulostusharrastajan kokeilla. Ohjelman testaus ja harjoittelu onnistuu ilman lisenssimaksuja, mutta jos ohjelmaa haluaa oikeasti käyttää päätoimisena 3D-tulostusohjelmana, on lisenssin ostoa lähes pakollista. Ohjelman ja verkkorakenteiden teon yksinkertaisuus, sekä STL-tiedostomuodon välistä poisjättäminen, todennäköisesti nostavat yleistä kiinnostusta ohjelmaa kohtaan 3D-tulostuspiireissä.

Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin kohtalaisen hyvin. Vaikka orgaanista rakennetta ei pystyttykään tekemään tarkoitetulla tavalla, sille löydettiin kuitenkin käytäntö, jolla sen voi toteuttaa. Verkkorakenteiden osalta 3Dxpert oli erinomainen löytö. Verkkorakenteet ovat oleellinen osa 3D-suunnittelua ja -tulostamista. Niiden teon helppous, ja erilaiset mahdollisuudet 3Dxpertissä, edesauttavat Solidworksia olemaan erinomainen vaihtoehto, kun valitaan suunnitteluohjelmistoa.

## LÄHTEET

3D printing. N.d. What is 3D printing. Luettu 14.3.2018.

<https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>

3D printing industry. N.d. The free beginner's guide. Luettu 10.4.2018.

<https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide#04-processes>

3D systems. N.d. Introducing 3Dxpert for Solidworks. Luettu 10.4.2018.

<https://www.3dsystems.com/blog/2018/2018-02/introducing-3dexpert-solidworks>

Bethany. 7.12.2017. A brief history of Solidworks. Luettu 5.4.2018.

<https://www.scan2cad.com/cad/solidworks-history/>

Design skills. 9.5.2015. Solenoid design using Solidworks. Katsottu 16.4.2018.

[https://www.youtube.com/watch?v=jPgOVDF7P\\_c](https://www.youtube.com/watch?v=jPgOVDF7P_c)

Flynt J. 2018. A Detailed History of 3D printing. Luettu 22.3.2018.

<http://3dinsider.com/3d-printing-history/>

GoEngineer. 10.11.2017. What's New to SOLIDWORKS 2018 Presentation. Katsottu

3.4.2018. <https://www.youtube.com/watch?v=2xG77z11mdk>

Solidworks. N.d. Tietoja Solidworksista. Luettu 14.3.2018.

[http://www.solidworks.fi/sw/6453\\_SVF\\_HTML.htm](http://www.solidworks.fi/sw/6453_SVF_HTML.htm)

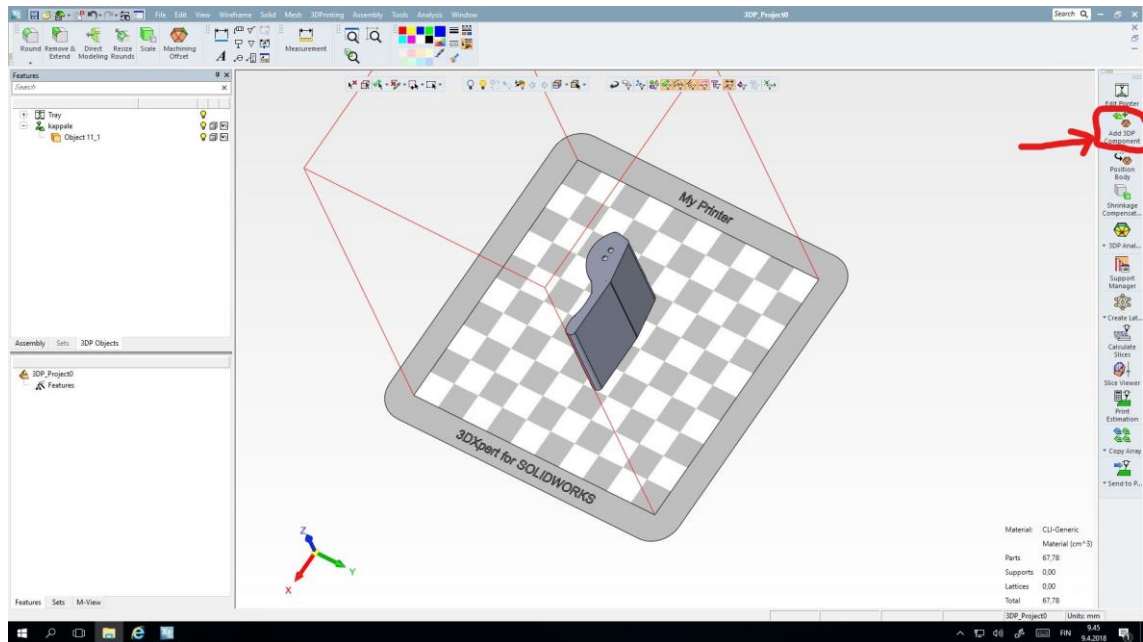
Solidworks. 12.9.2017. SOLIDWORKS 2018 – Topology Optimization. Katsottu

16.4.2018. <https://www.youtube.com/watch?v=sWOXiKRveOA>

Vehmaa M. 2017. Käyttöoppaan laatiminen: 3D-tulostaminen ja Simplify3D. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

## LIITTEET

### Liite 1. 3Dxpert: Valikon pikaopas

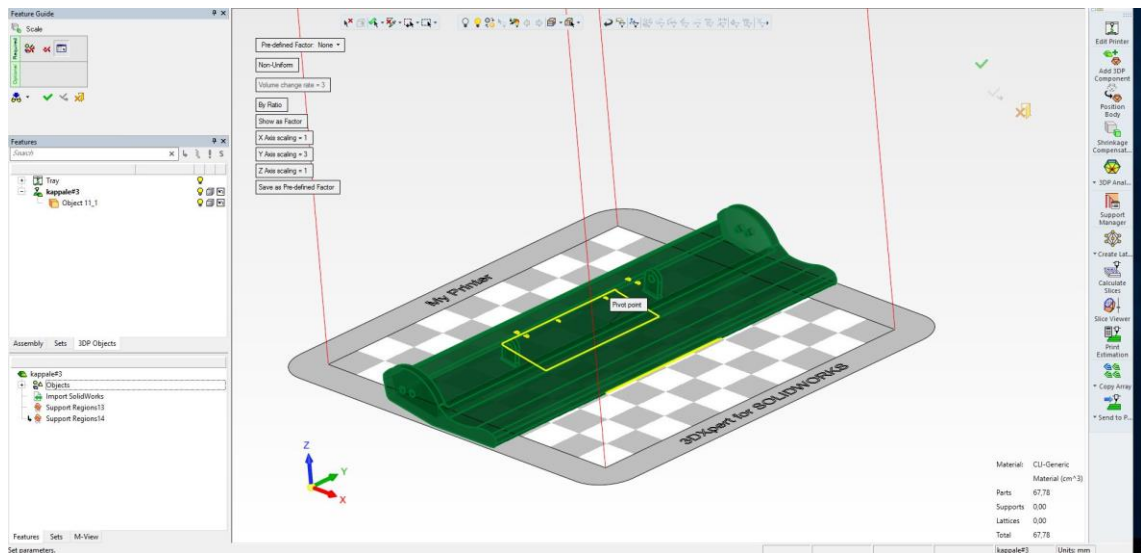


KUVA 20. 3Dxpertin perusnäkö

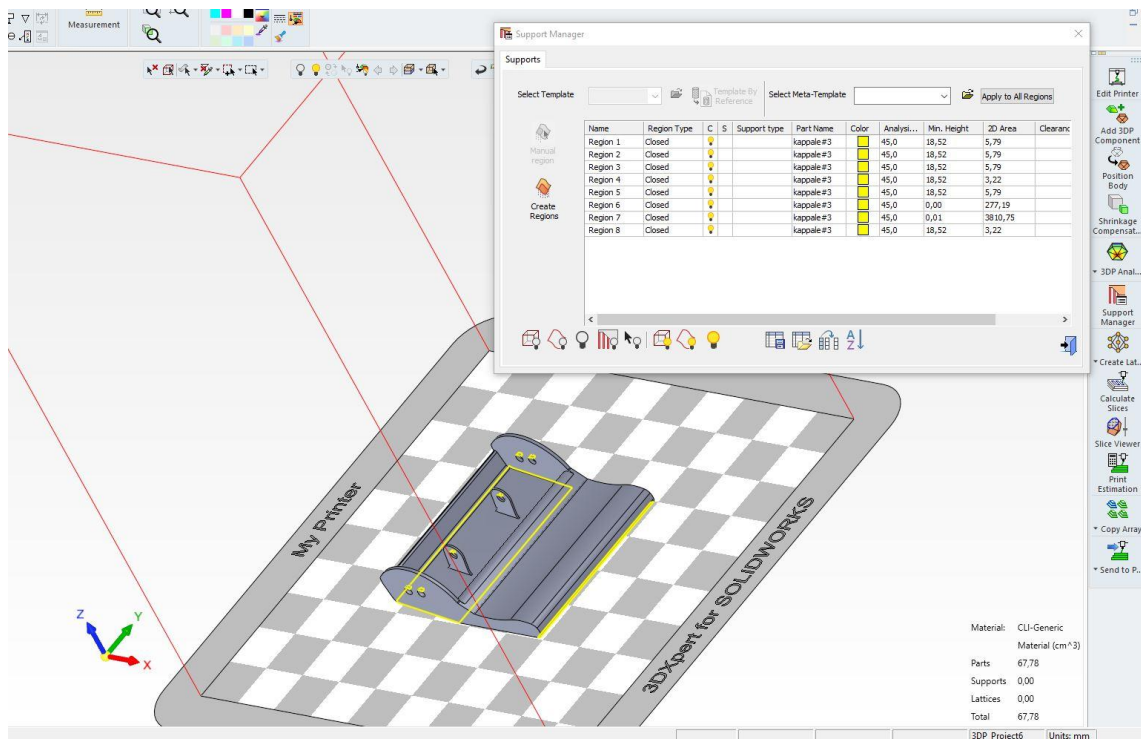
Yläreunasta löytyvät normaalin CAD-mallinnusohjelman kappaleen teko- ja muokkausnapit. Oikean puoleisesta valikosta löytyvät kaikki normaalin siivutusohjelman ominaisuudet 3Dxpertin omien lisäksi.

Ylhäältä alas seuraavasti:

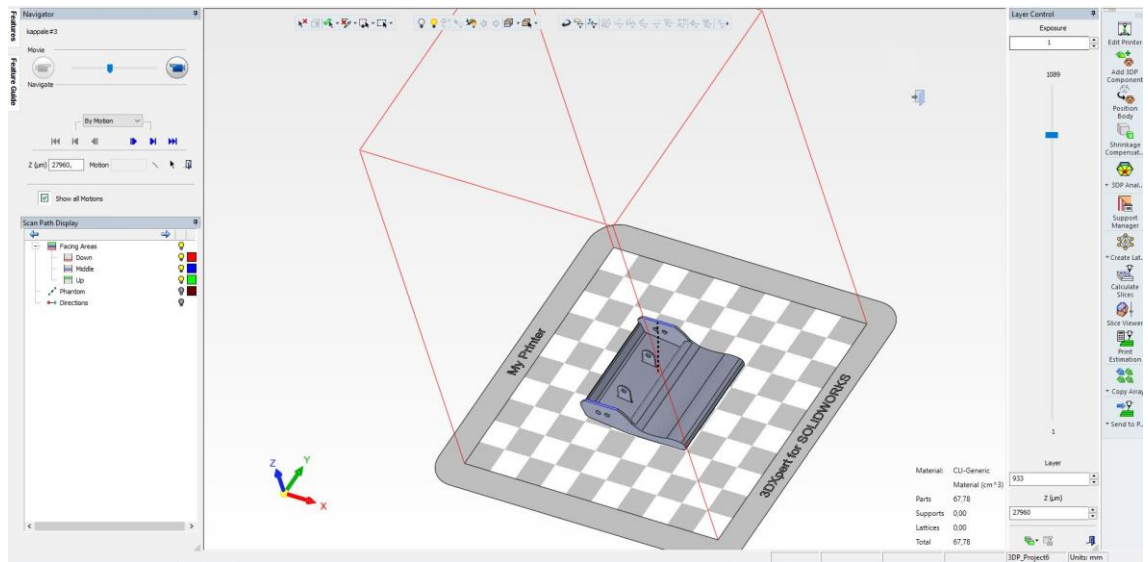
1. Käytettävän tulostimen valinta ja asetukset.
2. Kappaleen tuonti ohjelmaan.
3. Kappaleen asennon muokkaus.
4. Koon muokkaus.
5. 3DP analyysi.
6. Tukirakenteiden muokkaus
7. Verkkorakenteen teko.
8. Siivutuksen laskeminen
9. Siivutuksen tarkastelu
10. Tulostusprosessin arviointi
11. Tuodun kappaleen kopiointi
12. Kappaleen lähtys tulostimelle.



KUVA 21. Esimerkki kappaleen piirteiden koon muokkauksesta



KUVA 22. Esimerkki tukirakenteiden muokkauksesta



KUVA 23. Esimerkki siivutuksen tarkastelusta